پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۱۰ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوم ۱۳۹۸، صفحهٔ ۲۱۸-۲۰۴
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 204-218 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.70269

بِه‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* Medik) با تأکید بر مقایسهٔ شاخص‌های قدیمی و جدیدِ تحمل به تنش خشکی به‌منظور معرفی ژنوتیپ‌های امیدبخش

محمدحسن وفایی[1]، مهدی پارسا[2]*، احمد نظامی[3] و علی گنجعلی[4]
۱- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، mhvafaee45@gmail.com
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی و عضو هیئت علمی پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی و عضو هیئت علمی پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، nezami@um.ac.ir
۴- دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم و عضو هیئت علمی پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، ganjeali@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی و بِه‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس متحمل به تنش خشکی و مقایسهٔ شاخص‌های قدیمی و جدید تحمل به تنش، آزمایشی در قالب طرح آگمنت تحت دو شرایط متفاوت رطوبتی (یک‌بار آبیاری در زمان کاشت و آبیاری هر ۱۰روز یک‌بار) در سال زراعی۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. ارزیابی تحمل به تنش خشکی، بر اساس هفت شاخص قدیمی (TOL، MP، SSI، STI، GMP، HARM و RDI) و سه شاخص جدید (SNPI، ATI و SSPI) با استفاده از ۷۳ژنوتیپ عدس، شامل ۶۷توده بومی و لاین از ایران و دیگر کشورها و شش نمونه شاهد (سه رقم ایرانی بیله‌سوار، کیمیا و گچساران و سه نمونه از ایکاردا شامل Cabralinta، ILL325 و ILL857) صورت گرفت. مطالعهٔ همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط عدم‌تنش و تنش خشکی و شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که سه شاخص قدیمی HARM، STI و GMP و شاخص جدید SNPI، برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش مناسب هستند. برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، تجزیه کلاستر انجام گرفت و رسم دندروگرام، بر اساس عملکرد گیاه، تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌ها را به سه کلاستر گروه‌بندی کرد که ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و با عملکرد بالا در کلاستر سوم قرار گرفتند. همچنین ترسیم بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳، ۸، ۴۰، ۴۵، ۴۸، ۵۲، ۷۱ و ۷۳ که دو ژنوتیپ آخر آن جزو شاهدهای آزمایش بودند، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا هستند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه کلاستر، شاخص‌های مقاومت به خشکی، همبستگی

مقدمه

امروزه تنش خشکی یکی از مشکلات اساسی کشاورزی در ایران و جهان می‌باشد (Kafi *et al.*, 2009)، به‌طوری‌که در بین عوامل محیطی محدودکنندهٔ عملکرد گیاهان زراعی، خشکی، مهم‌ترین عامل کاهش تولید به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Alderfasia & Nielsen, 2001). تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان، باعث محدودیت رشد و بروز برخی تغییرات فیزیولوژیک و متابولیک در آن‌ها می‌گردد (Kafi *et al.*, 2009).

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین، نقش به‌سزایی در تأمین پروتئین موردنیاز بشر، خصوصاً در کشورهای کم‌درآمد و درحال‌توسعه داشته و بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند. این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن هوا، بخش عمده نیتروژن موردنیاز خود را تأمین نموده (Walley *et al.*, 2007) و به دلیل آن‌که از نظر فراهمی آب و عناصر غذایی موردنیاز، گیاهانی کم‌توقعی هستند، برای کشت در نظام‌های زراعی کم‌نهاده، گزینه‌ای مطلوب به‌شمار می‌روند (Parsa & Bagheri, 2008).

عدس (*Lens culinaris* Medik) یکی از حبوباتی است که با داشتن بیش از ۲۰درصد پروتئین و خصوصیاتی همچون توانایی رشد در شرایط نامناسب و خاک‌های فقیر توانسته به‌عنوان یک‌گونهٔ گیاهی باارزش نقش مهمی را در رژیم غذایی اقشار کم‌درآمد مردم کشورهای درحال‌توسعه ایفا کند (Tadayyon *et al.*, 2011). بر اساس آمارFAO، سطح زیرکشت جهانی عدس در سال۲۰۱۶ حدود ۵۴۸۱۰۰۰هکتار و متوسط عملکرد جهانی آن ۱۱۵۲کیلوگرم در هکتار بوده است

* نویسنده مسئول: parsa@um.ac.ir

که قاره امریکا (با ۵۵/۴درصد) و آسیا (با ۳۶/۸درصد) به‌ترتیب بیشترین سهم را در تولید این محصول به خود اختصاص داده اند. بنا بر گزارش وزارت جهادکشاورزی، در سال زراعی۹۵-۱۳۹۴ سطح زیرکشت عدس در ایران ۱۳۱۴۵۰هکتار بوده است که حدود ۱۶/۷درصد از کل اراضی زیرکشت حبوبات (۷۸۷۳۰۰هکتار) را شامل می‌شود. ۹۵درصد عدس تولیدی کشور به‌صورت دیم بوده و تنها ۷۱۰۰هکتار از آن به‌روش آبی تولید می‌گردد. متوسط عملکرد عدس دیم و آبی در کشور، به‌ترتیب ۵۹۴ و ۱۲۴۳کیلوگرم در هکتار می باشد (Agricultural Statistics, 2016).

با توجه به این‌که موفقیت یک برنامه اصلاحی و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب، به حجم و تنوع موجود در ذخایر ژنتیکی بستگی دارد، بررسی تنوع ژنوتیپ‌ها، بزرگ‌ترین شانس برای رسیدن به موفقیت در گزینش محسوب می‌شود (Mishra *et al.*, 2007)، لذا شناسایی ارقام پُرمحصول و متحمل و همچنین شناخت عوامل محدودکنندهٔ پتانسیل عملکرد در عدس، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. Bitaraf *et al*, (2010) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در گیاه عدس باید به گزینش لاین هایی با ارتفاع بوتهٔ بیشتر و دورهٔ رشد طولانی‌تر اقدام نمود. Rashidi *et al*, (2012) با مطالعه اثر تنش خشکی در مرحله زایشی بر روی ۱۵توده عدس بومی ایران اظهار داشتند که در بسیاری از صفات اندازه‌گیری‌شده، تنوع قابل‌توجهی بین توده های موردمطالعه وجود دارد و عملکرد و تعداد دانه در بوته بیشترین تأثیرپذیری از شرایط تنش خشکی را دارند. تحمل به خشکی صفتی کمّی است و برای اندازه‌گیری مستقیم آن روش واحدی وجود ندارد و همین موضوع، موجب مشکل‌شدن شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی می‌شود (Takeda & Matsuoka, 2008).

Blum (1988) معتقد است که انتخاب برای مقاومت به خشکی باید با انتخاب مواد ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط بدون تنش همراه باشد. بنابراین ارقامی که در شرایط رطوبتی مناسب و شرایط تنش خشکی عملکرد باثبات‌تری داشته و یا لااقل تفاوت عملکرد آن‌ها کم باشد، احتمالاً مقاومت نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت. به‌نظر می‌رسد که عملکرد دانه بالا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، اولین قدم برای انتخاب ژنوتیپ‌ها برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی در شرایط تنش خشکی باشد (Farshadfar *et al.*, 2001).

محققان، شاخص‌هایی تحت عنوان شاخص‌های تحمل به خشکی را معرفی نموده‌اند که جهت شناسایی و گزینش ژنوتیپ های متحمل به این تنش مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهشگران در بررسی این شاخص‌ها دریافتند که کارآمدی آن‌ها، به‌شدت و مدت تنش خشکی بستگی دارد (Panthuwan *et al.*, 2002). ازجمله این شاخص‌ها می‌توان به: شاخص حساسیت به تنش SSI[1] (Fischer & Maurer, 1978)، شاخص خشکی نسبی RDI[2] (Bidinger *et al*, 1978)، شاخص تحمل TOL[3] (Rosielle & Hamblin, 1981)، شاخص متوسط باروری MP[4] (Rosielle & Hamblin, 1981) و همچنین شاخص‌های تحمل تنش STI[5] و شاخص میانگین هندسی محصول GMP[6] (Fernandez, 1992) اشاره کرد.

هر یک از شاخص‌های بالا دارای محاسن و معایبی هستند و تاکنون، محققان بسیاری برای تعیین میزان حساسیت گیاهان مورد مطالعه به تنش خشکی از آن‌ها استفاده کرده‌اند؛ اما به نظر Moosavi *et al*, (2008) مشکل عمدهٔ این شاخص‌ها، آن است که نمی‌توانند گروه‌های فرناندزی را به‌راحتی مجزا سازند. به همین جهت وی و همکارانش سه شاخص جدید: شاخص تنش‌های غیرزنده ATI[7]، شاخص درصد حساسیت به تنش SSPI[8] و شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش SNPI[9] را پیشنهاد کردند که به عقیده وی و همکاران، دو شاخص اول، بهتر می‌توانند ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل را از ژنوتیپ‌های حساس جدا کنند و شاخص سوم نیز به‌خوبی قادر است ژنوتیپ‌های گروهA را که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش عملکرد بالایی دارند، از سایر گروهها جدا سازد.

با توجه به جایگاه و اهمیت حبوبات و به‌ویژه گیاه عدس در ایران و لزوم مواجهه با تنش فزایندهٔ خشکی در کشور، این مطالعه باهدف بِه‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس متحمل به خشکی با تأکید بر مقایسهٔ شاخص‌های قدیمی و جدید تحمل به تنش به‌منظور معرفی ژنوتیپ‌های امیدبخش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. در این پژوهش، ۷۳ژنوتیپ عدس شامل توده‌های بومی و لاین‌های عدس کشور و نمونه‌هایی از سایر کشورها در دو قطعه مجزا تحت شرایط عدم‌تنش آبی و تنش، کشت شدند.

[1] Stress Susceptibility Index
[2] Relative Drought Index
[3] Tolerance Index
[4] Mean Productivity
[5] Stress Tolerance Index
[6] Geometric Mean Productivity
[7] Abiotic Tolerance Index
[8] Stress Susceptibility Percentage Index
[9] Stress Non-stress Production Index

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های عدس مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Characteristics of lentil genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ[1] Genotype name (MLC[2])	منشأ ژنوتیپ Genotype origin	شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name (MLC)	منشأ ژنوتیپ Genotype origin	شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name (MLC)	منشأ ژنوتیپ Genotype origin
1	MLC 1	بیرجند Birjand	26	MLC 178	طبس Tabas	51	MLC 362	ایران Iran
2	MLC 12	فردوس Ferdaws	27	MLC 179	ایران Iran	52	MLC 363	ایران Iran
3	MLC 25	گناباد Gonabad	28	MLC 180	ILL[3]5582	53	MLC 366	ایران Iran
4	MLC 35	ارومیه Urmia	29	MLC 182	ILL707	54	MLC 368	ایران Iran
5	MLC 49	قائن Qaen	30	MLC 189	ILL7211	55	MLC 370	ایران Iran
6	MLC 55	بجنورد Bojnord	31	MLC 193	ILL7667	56	MLC 373	ایران Iran
7	MLC 59	بجنورد Bojnord	32	MLC 196	ILL7678	57	MLC 375	ایران Iran
8	MLC 88	آشخانه Ashkhaneh	33	MLC 201	ILL7681	58	MLC 377	ایران Iran
9	MLC 91	آشخانه Ashkhaneh	34	MLC 209	ILL6434	59	MLC 382	ایران Iran
10	MLC 95	بیرجند Birjand	35	MLC 216	ILL7720	60	MLC 383	ایران Iran
11	MLC 97	بیرجند Birjand	36	MLC 220	ILL7155	61	MLC 384	ایران Iran
12	MLC 101	زابل Zabol	37	MLC 221	ILL6466	62	MLC 386	ایران Iran
13	MLC 102	زابل Zabol	38	MLC 232	ILL5588	63	MLC 387	ایران Iran
14	MLC 103	زابل Zabol	39	MLC 235	ILL4401	64	MLC 389	گیلان Gilan
15	MLC 105	زابل Zabol	40	MLC 239	ILL5729	65	رباط Robat	ایران Iran
16	MLC 121	گیلان Gilan	41	MLC 240	ILL5728	66	شاهرود Shahrood	ایران Iran
17	MLC 124	گیلان Gilan	42	MLC 241	ILL5750	67	قزوین Qazvin	ایران Iran
18	MLC 137	گیلان Gilan	43	MLC 260	گیلان Gilan			
19	MLC 138	ایران Iran	44	MLC 261	آشخانه Ashkhaneh		ژنوتیپ‌های شاهد: Control Genotypes	
20	MLC 139	ایران Iran	45	MLC 352	ایران Iran	68	بیله‌سوار Bilehsevar	ایران Iran
21	MLC 141	ایران Iran	46	MLC 353	ایران Iran	69	کیمیا Kimia	ایران Iran
22	MLC 154	ایران Iran	47	MLC 355	ایران Iran	70	گچساران Gachsaran	ایران Iran
23	MLC 156	ایران Iran	48	MLC 356	ایران Iran	71	Cabralinta	ایکاردا ICARDA
24	MLC 159	گیلان Iran	49	MLC 358	ایران Iran	72	ILL325	ایکاردا ICARDA
25	MLC 174	کلات Kalaat	50	MLC 360	ایران Iran	73	ILL857	ایکاردا ICARDA

* منشأ کلیهٔ ژنوتیپ‌هایی که نام آنها با حرف I شروع شده، ایکاردا (ICARDA) می‌باشد.

* The origin of all genotypes that whose names are initiated with I letter is ICARDA.

[1] کُد بذر در بانک بذر پژوهشکدهٔ علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

[2] Mashhad Lentil Collection (MLC)

[3] ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) Lentil Line (ILL)

با توجه به تعداد زیاد ژنوتیپ‌ها، از طرح آماری مقایسه عملکرد مقدماتی (آگمنت[1]) برای کاشت استفاده گردید و در هر قطعه، چهار بلوک درنظرگرفته شد. هر بلوک شامل ۲۵خط کاشت، با فاصله ۵۰سانتی‌متر از یکدیگر و طول سه متر بود و در هر خط، یک ژنوتیپ کاشته شد. با توجه به نوع طرح، از شش ژنوتیپ (سه رقم ایرانی بیله‌سوار، کیمیا و گچساران و سه ژنوتیپ از ایکاردا شامل Cabralinta، ILL325 و ILL857) به عنوان شاهد استفاده گردید (جدول ۱).

نمونه‌های شاهد، در هر چهار بلوک در هر قطعه زمین، به‌صورت تکراری و سایر ژنوتیپ‌ها بدون تکرار کشت گردیدند. قبل از انجام عملیات کاشت، از خاک مزرعه در عمق ۳۰سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید و مقادیر pH، درصد ماده آلی، EC، عناصر ماکرو (N، P و K) و همچنین نوع بافت خاک تعیین شدند (جدول ۲). کاشت در تاریخ ۲۰اسفندماه سال۱۳۹۲ انجام شد و همزمان با کاشت، بر اساس توصیهٔ کودی آزمایشگاه مقدار عناصر موردنیاز، به خاک اضافه گردید و بلافاصله پس از کشت، جهت اطمینان از سبزشدن تمامی بذور، یک مرحله آبیاری برای هر دو شرایط کشت دیم (تنش خشکی) و آبی (عدم‌تنش) صورت گرفت. پس از آن، آبیاری فقط برای تیمارهای عدم‌تنش و به‌صورت هر۱۰روز یک‌بار انجام شد.

عملیات مقابله با علف‌های هرز در طول فصل رشد، طی دو نوبت در تاریخ‌های ۸ و ۲۸اردیبهشت‌ماه به‌صورت وجین دستی انجام گرفت. برداشت محصول از ۲۷خردادماه آغاز شد و بوته‌ها پس از حذف حاشیه، برداشت شدند و پس از کوبیدن و جداسازی دانه‌ها، عملکرد دانهٔ آن‌ها محاسبه گردید. به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های امیدبخش متحمل به خشکی، از هفت شاخص قدیمی و سه شاخص جدید (SNPI، ATI و SSPI) به‌شرح زیر استفاده شد:

۱- شاخص حساسیت به تنش (SSI) (Fischer & Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1-(Ys/Yp)}{1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p)}$$

۲-شاخص میانگین هارمونیک (HARM[2]) (Kristin *et al.*, 1997):

$$HARM = 2(Yp*Ys)/(Yp+Ys)$$

۳- شاخص تحمل (TOL) (Rosielle & Hamblin, 1981):

$$TOL = (Yp - Ys)$$

۴- شاخص متوسط باروری (MP) (Rosielle & Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{(Ys+Yp)}{2}$$

۵- شاخص تحمل به خشکی (STI) (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{(Ys*Yp)}{(\bar{Y}p)^2}$$

۶-شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{(Yp*Ys)}$$

۷- شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) (Moosavi *et al.*, 2008):

$$SSPI = 100*\left[(Yp-Ys)/2(\bar{Y}p)\right]$$

۸- شاخص تنش‌های غیرزنده (ATI) (Moosavi *et al.*, 2008):

$$ATI = \left[\frac{(Yp-Ys)}{(\bar{Y}p-\bar{Y}s)}\right]*\left[\sqrt{Yp*Ys}\right]$$

۹- شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش (SNPI) (Moosavi *et al.*, 2008):

$$SNPI = \sqrt[3]{\frac{(Yp+Ys)}{(Yp-Ys)}} * \sqrt[3]{Yp*Ys*Ys}$$

۱۰-شاخص خشکی نسبی (RDI) (Bidinger *et al.*, 1978):

$$RDI = (Ys/Yp)/(\bar{Y}s/\bar{Y}p)$$

Yp: میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط عدم‌تنش (شاهد)؛ Ys: میانگین عملکرد ژنوتیپ تحت شرایط تنش؛ $\bar{Y}p$: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم‌تنش و $\bar{Y}s$: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش می‌باشد.

برای تعیین روابط بین عملکرد دانه در شرایط عدم‌تنش (Yp) و تنش (Ys) با شاخص‌های تحمل، از ضرایب همبستگی ساده استفاده شد. همچنین جهت تعیین فاصله ژنتیکی (میزان خویشاوندی) ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward استفاده گردید. برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار JMP 8.0، ترسیم نمودارهای سه‌بعدی و بای‌پلات از نرم‌افزار Statgraphics XVII-X64 و برای خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها و ترسیم دندروگرام از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج بررسی میانگین و انحراف معیار نشان داد که بین عملکرد دانهٔ ژنوتیپ‌های عدس در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، اختلافات قابل‌توجهی وجود دارد (جدول ۳).

بر این اساس، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش ۲۰/۴گرم بر مترمربع بود که نسبت به میانگین آن در شرایط بدون تنش با ۶۸/۶گرم بر مترمربع، ۷۰/۳درصد کاهش داشت. با توجه به میزان ۱۴۷میلی‌متر بارندگی از زمان کاشت تا

[1] Augmented Designs for Preliminary Yield Trials
[2] Hramonic Mean index

برداشت، این کاهش عملکرد، دور از انتظار نبود و بیانگر نیاز بیشتر این گیاه به آبیاری تکمیلی می‌باشد. وجود انحراف معیار بالا بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۳)، نشان‌دهنده تنوع زیاد بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه بوده و این تنوع وسیع می‌تواند به‌عنوان ذخیره ژنتیکی ارزشمندی جهت مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۲- مشخصات خاک محل آزمایش

Table 2. Soil properties of experimental field

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس‌برمتر) EC (dS/m)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
سیلت لوم Silt Loam	7.20	0.99	0.089	32	162.6	0. 65	1.12

جدول ۳- عملکرد ۷۳ ژنوتیپ عدس در شرایط غیرتنش و تنش

Table 3. Yield of 73 lentil genotypes under stress and non- stress condition

شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیرتنش Yp ($g.m^{-2}$)	عملکرد تنش Ys ($g.m^{-2}$)	شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیرتنش Yp ($g.m^{-2}$)	عملکرد تنش Ys ($g.m^{-2}$)	شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیرتنش Yp ($g.m^{-2}$)	عملکرد تنش Ys ($g.m^{-2}$)	شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیرتنش Yp ($g.m^{-2}$)	عملکرد تنش Ys ($g.m^{-2}$)
1	90.00	35.00	21	40.02	18.01	41	122.06	32.31	61	64.72	15.98
2	54.79	9.91	22	65.01	18.05	42	80.01	23.01	62	108.39	20.77
3	81.48	43.33	23	35.27	9.93	43	34.54	15.67	63	58.05	9.42
4	70.10	28.04	24	107.36	19.04	44	50.06	8.56	64	76.61	33.56
5	31.91	5.50	25	80.01	30.02	45	110.02	50.02	65	65.41	12.77
6	52.15	14.46	26	60.07	25.03	46	90.01	30.01	66	51.72	14.35
7	40.05	18.02	27	119.58	18.79	47	18.23	4.03	67	74.59	16.27
8	93.49	43.34	28	35.83	6.50	48	112.8	51.61	68	61.17	27.24
9	70.88	17.46	29	15.59	3.01	49	87.41	18.01	69	94.43	21.27
10	7.24	3.13	30	96.6	20.03	50	108.66	32.18	70	63.14	25.53
11	85.35	18.84	31	6.47	1.51	51	114.26	18.23	71	97.16	48.69
12	49.87	10.07	32	62.03	10.01	52	78.12	39.88	72	104.79	20.97
13	31.79	5.51	33	70.01	23.02	53	74.57	25.64	73	96.41	54.26
14	45.56	10.11	34	112.12	18.12	54	65.15	11.02			
15	99.04	35.05	35	87.8	16.44	55	41.75	18.71			
16	70.01	10.01	36	108.08	20.03	56	31.45	6.48	میانگین Mean	68.63	20.44
17	41.85	16.13	37	8.21	3.13	57	97.92	20.71			
18	82.21	24.24	38	50.43	21.37	58	102.17	34.76			
19	82.51	20.02	39	52.51	10.01	59	6.12	1.50	انحراف معیار Std.	30.85	13.10
20	37.71	7.53	40	115.46	56.77	60	21.69	5.01			

به عقیده محققان، بهترین شاخص تحمل خشکی، شاخصی است که هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش، همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشته باشد (Blum, 1988). بر همین اساس، ضریب همبستگی بین عملکرد دانهٔ ژنوتیپ‌ها در شرایط غیرتنش و تنش با شاخص‌های مقاومت به خشکی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). نتایج این جدول نشان داد که بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، همبستگی معنی‌داری (p≤۰/۰۱) وجود دارد. همچنین بین عملکرد در شرایط بدون تنش با شاخص‌های قدیمی HARM،TOL، MP، STI و GMP و شاخص‌های جدید SNPI، ATI و SSPI همبستگی مثبت و معنی‌داری (p≤۰/۰۱) وجود داشت؛ اما همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش، با شاخص‌های SSI و RDI معنی‌دار نگردید و همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و SSI نیز منفی بود. بر اساس همین جدول (جدول ۴) بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های قدیمیHARM ،TOL ،MP ، STI،

GMP، RDI و شـاخص‌هـای جدیـد SNPI، ATI و SSPI همبستگی مثبـت و معنـی‌داری (p≤۰/۰۱) وجـود داشـت؛ امـا همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و شاخص SSI منفی و معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود.

شاخصSSI، شاخص حساسیت به خشکی است و هرچـه مقدار این شاخص کوچک‌تر باشد، تحمل به خشکی ژنوتیـپ‌هـا بیشتر خواهد بود؛ البته انتخاب بـر اسـاس شـاخصSSI باعـث انتخاب ژنوتیپ‌هـایی مـی‌شـود کـه نسـبت بـه تـنش متحمـل هستند، امـا پتانسـیل عملکـرد پـایینی دارنـد (Schneider *et al.*,1997)، به همین جهت، ایـن شـاخص قـادر بـه تشـخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط، عملکرد بالایی دارند، نیست.

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های عدس

Table 4. Correlation coefficient between Yp, Ys and tolerance indices in Lentil genotypes

	Yp	Ys	SSI	HARM	TOL	MP	STI	GMP	SSPI	ATI	SNPI	RDI
Yp	-											
Ys	0.712 **	-										
SSI	-0.065 ns	-0.696 **	-									
HARM	0.796 **	0.991 **	-0.612 **	-								
TOL	0.920 **	0.379 **	0.304 **	0.494 **	-							
MP	0.975 **	0.851 **	-0.270 *	0.910 **	0.809 **	-						
STI	0.795 **	0.960 **	-0.531 **	0.970 **	0.511 **	0.900 **	-					
GMP	0.895 **	0.950 **	-0.471 **	0.982 **	0.648 **	0.972 **	0.960 **	-				
SSPI	0.920 **	0.379 **	0.304 **	0.494 **	1.00 **	0.809 **	0.511 **	0.648 **	-			
ATI	0.97 0**	0.694 **	-0.069 ns	0.776 **	0.890 **	0.947 **	0.819 **	0.872 **	0.890 **	-		
SNPI	0.744 **	0.999 **	-0.665 **	0.994 **	0.421 **	0.874 **	0.967 **	0.962 **	0.421 **	0.724 **	-	
RDI	0.063 ns	0.695 **	-1.00 **	0.611 **	-0.306 **	0.268 *	0.531 **	0.469 **	-0.306 **	0.068 ns	0.664 **	-

Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ SSI: شاخص حساسیت تنش؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ TOL: شاخص تحمل تنش؛ MP: میانگین هندسی؛ STI: شاخص تحمـل تـنش؛ GMP: میانگین حسابی؛ SSPI: شاخص حساسیت به تنش؛ ATI: شاخص تنش‌های غیرزنده؛ SNPI: شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش؛ RDI: شاخص خشکی نسبی

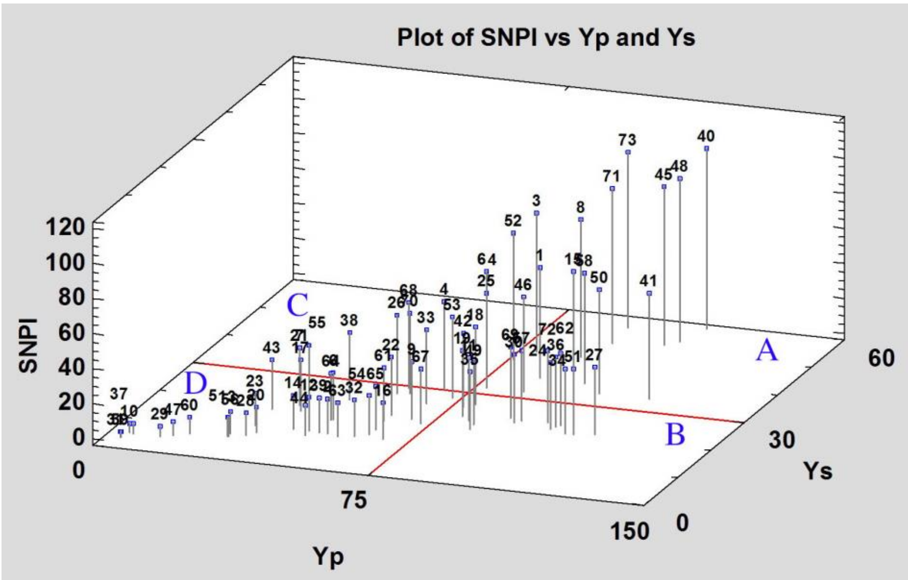
Yp: Potential Yield; Ys: Stress yield; SSI: Stress Susceptibility Index; HARM: Harmonic mean; TOL: Tolerance Index; MP: Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometrical; SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SNPI: Stress-Non stress Production Index; RDI: Relative Drought Index

با توجه به مطالب گفته‌شده و نتایج حاصـل در جـدول۴، می‌توان شـاخص‌هـای قـدیمی HARM، TOL، STI، GMP، MP و سه شاخص جدید SSPI، SNPI و ATI که همگـی، بـا عملکرد در شرایط تنش و عدم‌تنش، همبستگی مثبت و معنـی داری (p≤۰/۰۱) داشـتند را بـه عنـوان شـاخص‌هـای مناسـب، جهت غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش انتخاب نمـود. وجـود همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌هـای مقاومـت بـه تنش خشکی و عملکرد در هـر دو شـرایط تـنش و عـدم‌تـنش، نشان دهندهٔ کارآمدبودن این شاخص‌هـا در ارزیـابی تحمـل بـه خشکی ژنوتیپ‌ها می‌باشد. به‌منظور انجـام ارزیـابی دقیـق‌تـر و کاهش تعداد شاخص‌های منتخـب، مـی‌تـوان شـاخص‌هـایی را برگزید که همبستگی شـدیدتری بـا عملکـرد در شـرایط تـنش دارند. بر این مبنا، می‌توان شاخص جدید SNPI که با عملکـرد در شرایط تنش، همبستگی ۹۹/۹درصـدی داشـته و همچنـین شاخص‌های قدیمی HARM، STI و GMP را که بـا عملکـرد در شرایط تنش، به‌ترتیب ۹۹/۱، ۹۶/۰ و ۹۵/۰درصد همبستگی داشتند را به عنوان شاخص‌های برتر معرفی نمود. در مطالعه‌ای که Rahimi *et al*, (2017) بـر روی ۱۶۸لایـن اینبـرد عـدس انجـام دادنـد، شـاخص‌هـای HARM، STI، MP، GMP بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط غیرتنش و تنش خشکی نشان دادند و بر همین اسـاس، سـه ژنوتیـپ بـا مقادیر بالای این شاخص‌ها، به‌عنوان لاین‌های متحمـل معرفـی شدند. در بررسی عملکرد گندم دوروم تحت شرایط تنش و عدم تـنش نیـز شـاخص‌هـای MP، GMP، HARM و TOL مناسب‌ترین موارد جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی تشخیص داده شدند و بر همین اساس، چهـار ژنوتیـپ منتخـب معرفی گردیدند (Biosci *et al.*, 2017). در پژوهشـی کـه بـر روی ژنوتیپ‌های گندم انجام شـد، پـس از تحلیـل همبسـتگی عملکرد تحت شـرایط تـنش و عـدم‌تـنش، شـاخص‌هـای MP، GMP، STI، RDI و SNPI جهت انتخاب ژنوتیپ‌هـای مقـاوم معرفی شدند (Aktaş, 2016). در مطالعهٔ ۱۶ژنوتیپ گندم نیـز شـاخص‌هـای SSPI، RDI، ATI، SNPI و چنـد شـاخص تغییریافتـه دیگـر بـه‌عنـوان بهتـرین مـوارد جهـت گـزینش ژنوتیپ‌های متحمل تشخیص داده شدند (Farshadfar *et al.*, 2013).

Fernandez, (1992) ژنوتیـپ‌هـا را بـر اسـاس میـزان عملکردشان در شرایط تنش و عدم‌تنش به چهار گـروه تقسـیم کرد. ژنوتیپ‌هایی کـه در هـر دو محـیط تـنش و بـدون تـنش عملکرد خوبی دارند (A)، ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط بـدون تنش تظاهر خوبی دارند (B)، ژنوتیپ‌هایی که در محیط تـنش عملکرد خوبی دارند (C) و ژنوتیپ‌هایی کـه در هـر دو محـیط تنش و بدون تنش تظاهر ضعیفی دارند (D). بر اساس نظر ایـن

محقق، مناسب‌ترین معیار برای گزینش، معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد. با توجه به این‌که در این مطالعه، شاخص جدید SNPI و شاخص‌های قدیمی HARM، STI و GMP به عنوان شاخص‌های مناسب جهت جداسازی گروهA از سایر گروه‌ها تشخیص داده شدند، لذا از روش ترسیم نمودارهای سه‌بعدی برای تشخیص گروهA از سایر گروه‌ها استفاده گردید و بر مبنای این نمودارها، ژنوتیپ‌های برتر گزینش شدند (شکل‌های ۱ تا ۴). در این نمودارها محور اول و دوم، عملکرد گیاه در شرایط غیرتنش و تنش و محور سوم شامل یکی از شاخص‌های برگزیده می‌باشد. قسمت سطح هر نمودار بر اساس تقسیم‌بندی چهارگانهٔ (Fernandez, 1992) به چهار بخش مساوی A، B، C و D تقسیم شد.

در شکل ۱، نمودار سه‌بعدی عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش و شاخص جدیدSNPI نشان داده شده است. در این شکل، به‌ترتیب، ژنوتیپ‌های ۴۰، ۷۳، ۴۸، ۴۵، ۷۱، ۳، ۸ و ۵۲ در ناحیهA قرار دارند. از آنجا که ژنوتیپ‌های این ناحیه، هم در شرایط تنش و هم غیرتنش، دارای عملکرد بالایی هستند، می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی نمود. همچنین ژنوتیپ‌های۴۹، ۳۴، ۵۱، ۲۴، ۲۷ و ۳۰ که در ناحیهB قرار گرفته و بالاترین میزان شاخصSNPI را دارا هستند، می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل با عملکرد بالا، معرفی نمود. Fathi *et al*, (2012) نیز در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی از این روش استفاده کرده و بر اساس شاخص‌های MP, GMP, HARM, STI تعداد۱۰ژنوتیپ برتر را شناسایی کرده‌اند.



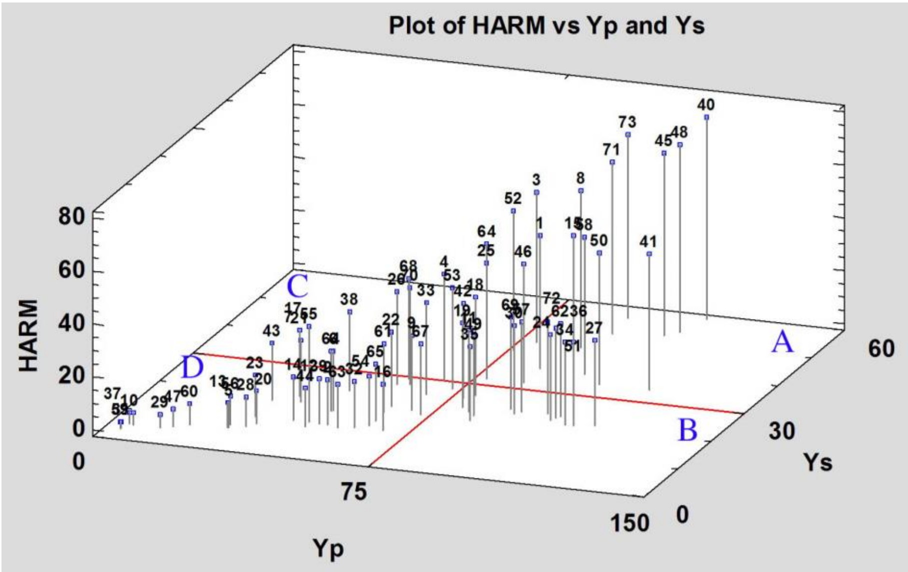
شکل ۱- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص SNPI

Fig. 1. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress and non-stress yield (Yp, Ys) and SNPI index

نتایج حاصل از بررسی شاخصHARM نشان داد که ژنوتیپ‌های۴۰، ۴۸، ۷۳، ۴۵، ۷۱، ۸، ۳ و ۵۲ به‌ترتیب، در ناحیهA قرار دارند (شکل ۲)؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را که در هر دو شرایط عدم‌تنش و تنش خشکی، عملکرد بالایی دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب نمود. همچنین ژنوتیپ‌های۷۲، ۶۲، ۶۹، ۵۷ و ۳۶ را که در ناحیهB قرار گرفته و دارای مقدار بالای شاخصHARM بودند، می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و نسبتاً متحمل معرفی نمود. این روش انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم قبلاً توسط (Mafakheri *et al*, (2015 بر روی ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی اعمال گردیده و موجب گزینش چهار ژنوتیپ گردیده است. ترسیم نمودار سه‌بعدی Yp و Ys با شاخصSTI (شکل ۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های۴۰، ۴۸، ۴۵، ۷۳، ۷۱، ۸، ۴۱ و ۵۸ به ترتیب، در ناحیهA قرار دارند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را بر اساس شاخصSTI به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی نمود و ژنوتیپ‌های۶۲، ۲۷، ۷۲، ۳۶ و ۵۱ را که در ناحیهB قرار گرفته و دارای مقدار بالای این شاخص هستند نیز می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و نسبتاً متحمل، برگزید.

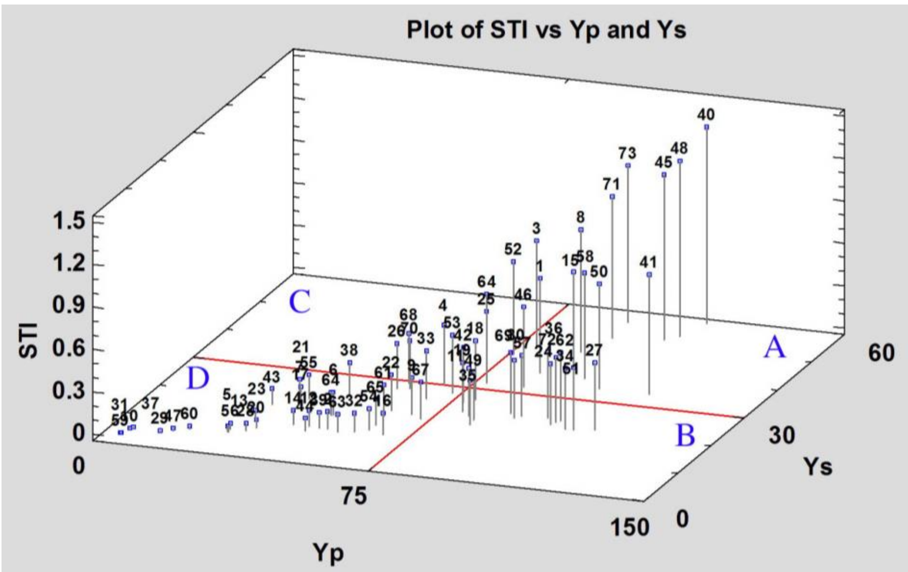
Ganjali *et al,* (2009) از این شیوه جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل گیاه نخود استفاده کرده و بر اساس شاخص‌های MP, GMP, HARM سه ژنوتیپ متحمل را جداسازی نموده‌اند.

نمودار سه‌بعدی عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش و شاخص GMP نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۴۸، ۴۵، ۷۳، ۷۱، ۸، ۴۱ و ۵۸ به‌ترتیب، در ناحیه A قرار دارند (شکل ۴). از آنجاکه ناحیه A محل قرارگرفتن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط غیرتنش و تنش خشکی می‌باشد، می‌توان گفت که این ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GMP متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند. اعمال این روش انتخاب بر روی ژنوتیپ‌های مقاوم توسط Rahimi *et al,* (2017) بر روی ژنوتیپ‌های عدس موجب گزینش پنج ژنوتیپ و در گیاه تاج‌خروس موجب انتخاب چهار ژنوتیپ متحمل گردیده است (Ajayi *et al.*, 2016).



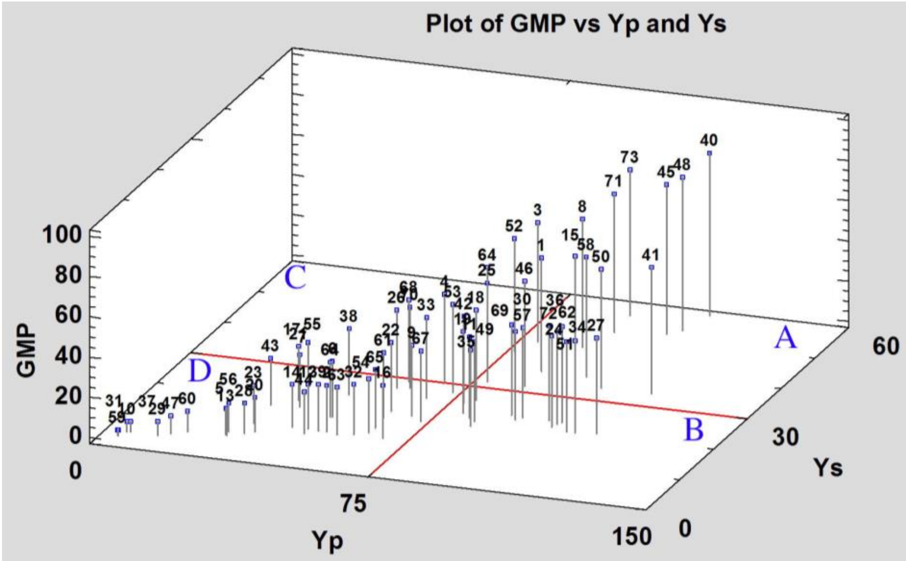
شکل ۲- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص HARM

Fig. 2. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress yield (Yp) and non-stress yield (Ys) with HARM index



شکل ۳- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص STI

Fig. 3. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress yield (Yp) and non-stress yield (Ys) with STI index



شکل ۴- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص GMP

Fig. 4. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress yield (Yp) and non-stress yield (Ys) with GMP index

برای بررسی همزمان روابط بیش از سه متغیر و ترسیم نمودار بای‌پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس عملکرد تحت شرایط غیرتنش و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی صورت گرفت (جدول ۵) که در نتیجه، مؤلفه اول به‌تنهایی ۷۱/۳درصد از کل تغییرات را توجیه نمود. این مؤلفه با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش و همچنین شاخص‌های قدیمی HARM، TOL، MP، STI، GMP و RDI و شاخص های جدید SNPI، SSPI و ATI همبستگی مثبت و بالایی داشته و با شاخص حساسیت (SSI) رابطه منفی دارد؛ بنابراین، مقدار زیاد این مؤلفه مطلوب بوده و با افزایش مقدار این مؤلفه، عملکرد در شرایط عدم‌تنش و تنش افزایش می‌یابد؛ درنتیجه این مؤلفه ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کند که در شرایط غیرتنش، دارای پتانسیل عملکرد بالا بوده و به تنش خشکی تحمل نسبی دارند که در این صورت این مؤلفه را می‌توان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش، نام‌گذاری نمود. مؤلفه دوم نیز به تنهایی ۲۶/۷درصد از تغییرات را توجیه می‌کند. این مؤلفه با عملکرد در شرایط بدون تنش رابطه مثبت و با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های HARM، STI، GMP، SNPI و RDI رابطه منفی دارد. اگر مؤلفه دوم افزایش یابد، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا تحت شرایط غیرتنش و عملکرد پایین تحت شرایط تنش خشکی هستند، انتخاب می‌گردند؛ بنابراین، مقدار کم این مؤلفه مطلوب بوده و با کاهش مقدار این مؤلفه، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد پایین تحت شرایط عدم‌تنش و عملکرد بالا تحت شرایط تنش هستند، انتخاب می‌گردند. مؤلفه دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری نمود.

جدول ۵- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های مقاومت و عملکرد در شرایط غیرتنش و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های عدس

Table 5. Eigen values, vector values and cumulative variance of tolerance indices, Yp and Ys in lentil genotypes

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	درصد سهم تجمعی Cumulative of variance (%)	Yp	Ys	SSI	HARM	TOL	MP	STI	GMP	SSPI	ATI	SNPI	RDI
1	8.55	71.28	0.31	0.32	-0.15	0.33	0.24	0.34	0.33	0.34	0.24	0.31	0.32	0.15
2	3.20	97.95	0.21	-0.20	0.49	-0.13	0.40	0.10	-0.10	-0.03	0.40	0.21	-0.18	-0.49

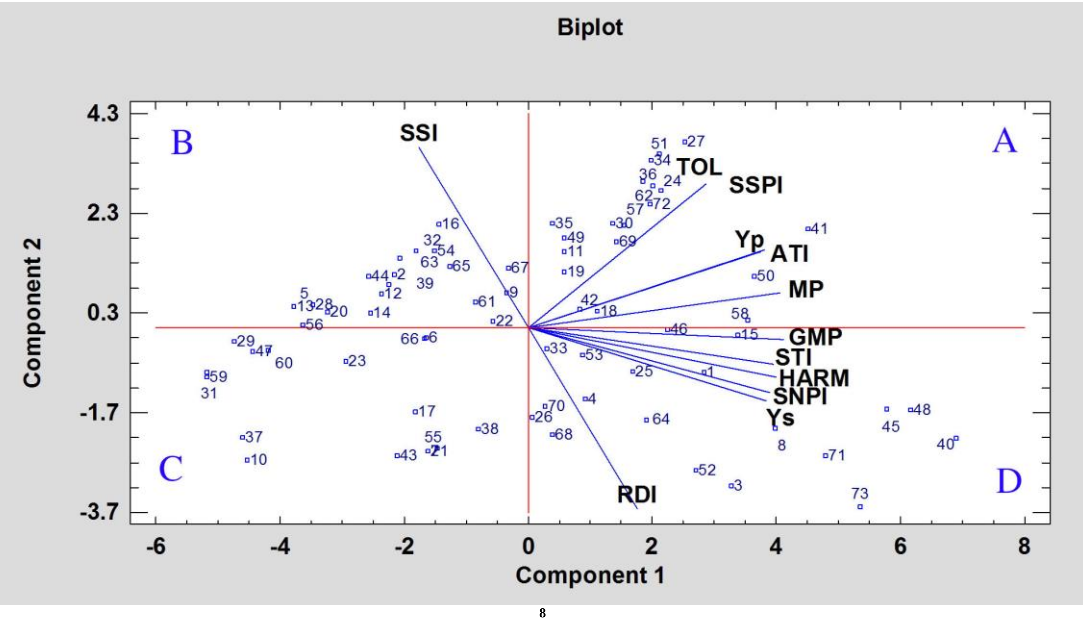
Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ SSI: شاخص حساسیت تنش؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ TOL: شاخص تحمل تنش؛ MP: میانگین هندسی؛ STI: شاخص تحمل تنش؛ GMP: میانگین حسابی؛ SSPI: شاخص حساسیت به تنش؛ ATI: شاخص تنش‌های غیرزنده؛ SNPI: شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش؛ RDI: شاخص خشکی نسبی

Yp: Potential Yield; Ys: Stress yield; SSI: Stress Susceptibility Index; HARM: Harmonic mean; TOL: Tolerance Index; MP: Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometrical; SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SNPI: Stress-Non stress Production Index; RDI: Relative Drought Index

رسم بای‌پلات

رابطۀ سه متغیر را می‌توان با استفاده از نمودار سه‌بعدی بررسی نمود، اما درصورتی‌که بررسی رابطه بیش از سه متغیر مدّنظر باشد، از نمودار چندمتغیره موسوم به نمودار بای‌پلات استفاده می‌شود. با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات می‌توان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی را در یک شکل واحد ترسیم نمود. بای‌پلات ابزاری مفید برای تجزیه اطلاعات بوده و ارزیابی نظری ساختار یک ماتریس بزرگ دوطرفه را ممکن می‌سازد. بدین منظور ماتریس موردنظر که از اطلاعات جدول۵ تشکیل‌شده بود، از طریق تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به سه مؤلفه تقسیم شد که دو مؤلفه اول درمجموع ۹۷/۹ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه نمود که استفاده از دو مؤلفه اول تنها موجب ازدست‌رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات (۰/۰۲) می‌شود. ازآنجاکه تفسیر نتایج، بر اساس دو مؤلفه اول و دوم کافی بوده و این مؤلفه‌ها دارای کارآیی لازم می‌باشند، ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول صورت گرفت (شکل ۵) که بر این اساس، ژنوتیپ‌های متحمل و پُرمحصول در ناحیهD قرار گرفتند. در این ناحیه، شاخص‌های قدیمی HARM، STI، GMP، RDI و شاخص جدیدSNPI قرار دارند که همه آن‌ها با شاخص Ys هم‌جهت بوده و با آن همبستگی مثبت دارند. به همین جهت، این شاخص‌ها را می‌توان به عنوان شاخص‌های مطلوب معرفی نمود. زاویه بین بردارها میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد. وجود زاویۀ تند بین Ys و شاخص جدیدSNPI و شاخص‌هایHARM و STI بیانگر وجود همبستگی شدید و مثبت بین این شاخص‌ها بوده و نشان‌دهندۀ برتری آن‌ها می‌باشد. با درنظرگرفتن این معیار، می‌توان ژنوتیپ‌های ۴۰، ۴۸، ۷۱، ۷۳، ۳، ۸، ۴۵ و ۵۲ را که با سه شاخص مذکور بیشترین هم‌جهتی را داشته و در انتهای ناحیهD قرار دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل معرفی نمود. نتایج این گزینش، با نتایج حاصل از روش گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به‌وسیلۀ ترسیم نمودارهای سه‌بعدی (شکل‌های ۱ تا ۴) نیز همخوانی دارد.

بر اساس شکل ۵، شاخصYp و ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط غیرتنش و دارای عملکرد پایین در شرایط تنش، در ناحیهA قرار دارند. همچنین در این شکل، ژنوتیپ‌های حساس به تنش و دارای عملکرد پایین، در ناحیهB قرار گرفتند.

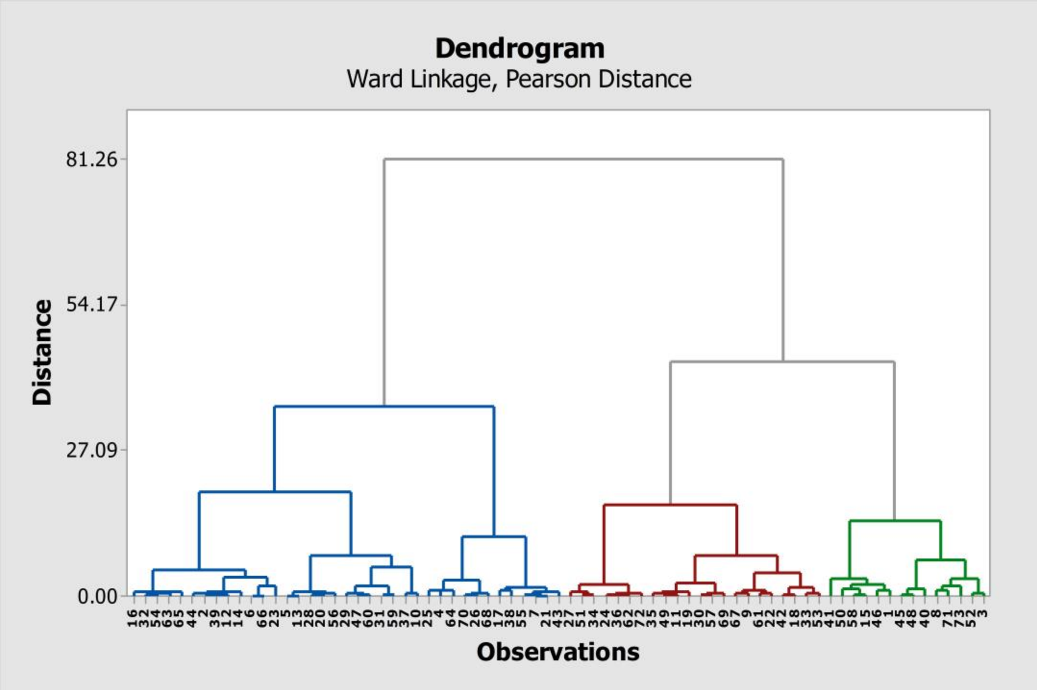


شکل ۵- نمایش بای‌پلات ژنوتیپ‌های عدس در ۱۰شاخص تحمل به خشکی بر اساس دو مؤلفه اول و دوم

Fig. 5. Biplot for lentil genotypes at 10 tolerance to drought indices on the basis of first and second components

Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ SSI: شاخص حساسیت تنش؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ TOL: شاخص تحمل تنش؛ MP: میانگین هندسی؛ STI: شاخص تحمل تنش؛ GMP: میانگین حسابی؛ SSPI: شاخص حساسیت به تنش؛ ATI: شاخص تنش‌های غیرزنده؛ SNPI: شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش؛ RDI: شاخص خشکی نسبی

Yp: Potential Yield; Ys: Stress yield; SSI: Stress Susceptibility Index; HARM: Harmonic mean; TOL: Tolerance Index; MP: Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometrical; SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SNPI: Stress-Non stress Production Index; RDI: Relative Drought Index



شکل ۶- دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس بر اساس عملکرد، تحت شرایط عدم‌تنش (Yp) و شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش Ward

Fig. 6. Dendrogram obtained by cluster analysis of lentil genotypes bases on Yp,Ys and tolerance indices using by Wards method

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس دو شاخص عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش و ۱۰شاخص حساسیت، از تجزیه کلاستر به روشWard استفاده شد (شکل ۶). در این روش، ژنوتیپ‌ها بر حسب میزان شباهتشان به یکدیگر و بر اساس میزان شاخص‌های تحمل به تنش، به سه کلاستر جداگانه تقسیم شدند که در این خوشه‌بندی، ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل، در کلاستر سوم قرار گرفتند. بر همین اساس، ژنوتیپ‌های۳، ۵۲، ۷۳، ۷۱، ۸، ۴۰، ۴۸ و ۴۸ که در قسمت بالای خوشه سوم قرار گرفته بودند، برگزیده شده و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی شدند. این نتایج، با نتایج به‌دست‌آمده به روش نمودارهای سه‌بعدی (شکل‌های ۱ تا ۴) و روش ترسیم بای‌پلات (شکل ۵) نیز همخوانی دارد. استفاده از تجزیه کلاستر جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در گندم توسط Mohammed & Kadhem (2017)، در تاج‌خروس توسط Ajayi *et al*, (2016) و در لوبیا چشم‌بلبلی توسط Fathi *et al*., (2012) مورد استفاده قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان شاخص جدیدSNPI را که از همبستگی بسیار بالایی (۹۹/۹درصد) با عملکرد در شرایط تنش برخوردار است و همچنین شاخص‌های قدیمی HARM، STI و GMP که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با یکدیگر و با عملکرد در دو شرایط عدم‌تنش و تنش را دارند، به‌عنوان مناسب‌ترین و کارآمدترین معیارها جهت شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی نمود. نتایج به‌دست‌آمده از روش ترسیمی سه‌بعدی، بای‌پلات و تجزیهٔ کلاستر برای گزینش لاین‌هایی با عملکرد بالا و مقاوم به خشکی، در توافق با یکدیگر بوده و بر همین اساس، به نظر می رسد که می‌توان ژنوتیپ‌های۴۰، ۴۸، ۷۱، ۷۳، ۳، ۸، ۴۵ و ۵۲ را به‌عنوان ژنوتیپ برتر و امیدبخش در اقلیم مشهد برای مطالعات بعدی معرفی نمود. پیشنهاد می‌گردد که جهت رسیدن به دو یا سه ژنوتیپ امیدبخش، آزمایش مزرعه‌ای دیگری در قالب طرح‌های دارای تکرار، در بین هشت ژنوتیپ شناسایی‌شده در این پژوهش که بالاترین مقدار از شاخص‌های برگزیده را کسب کرده‌اند، طراحی و اجرا گردد.

منابع

1. Agricultural Statistics. 2016. Ministry of Agriculture Jihad. First Volume (Crop Products). 21-22.
2. Ajayi, E.O., Sakariyamo, O.S., Okeleye, K.A., Ariyo, O.J., Sakariyawo, O.S., Okeleye, K.A., and Ariyo, O.J. 2016. Preliminary evaluation of grain amaranth (*Amaranthus* spp.) accessions for drought tolerance by multivariate technique. Agronomski Glasnik 78(5/6): 231-249.
3. Aktaş, H. 2016. Drought tolerance indices of selected landraces and bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) genotypes derived from synthetic wheats. Applied Ecology and Environmental Research 14(4): 177-189.
4. Alderfasi, A.A., and Nielsen, D.C. 2001. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. Agricultural Water Management 47(1): 69-75.
5. Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V., and Rao, G.D.P. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]. I. Factors affecting yields under stress. Australian Journal of Agricultural Research 38(1): 37-48.
6. Biosci, I.J., Semcheddinne, N., Guendouz, A., Oulmi, A., and Hafsi, M. 2017. Screening of wheat (*Triticum durum*) for drought tolerance in semiarid conditions. International Journal of Biosciences 6655: 166-178.
7. Bitaraf, N., Khoddambashi, M., and Hooshmand, S. 2010. Correlation and path analysis of grain yield and its components for lentil under Shahrekord climate. Iranian Journal of Pulses Research 1(1): 51-56. (In Persian with English Summary).
8. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. Boca Raton: CRC Press.
9. FAO. 2016. FAOSTAT. Available at http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize
10. Farshadfar, A., Zamani, M.R., Motallebi, M., and Emam Jomae, A. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32(4): 65-77. (In Persian).
11. Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M., and Safavi, S.M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1(2): 2322-4827.
12. Fathi, M., M.R. Bihamta, N., Majnoon Hosseini, A.A., Shah Nejat Boushehry, and Ali Pour Yamchi, M. 2012. Screening for terminal drought stress tolerance in cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* L.). Iranian Journal of Pulses Research 3(2): 45-54. (In Persian with English Summary).
13. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Taiwan, August 13-18, 1992. p. 257-270.
14. Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agriculture Agriculture Research 29(5): 897-912.
15. Fischer, R.A., and Wood, J.T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. Australian Journal of Agricultural Research 30(6): 1001-1020.
16. Ganjali, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 183-193. (In Persian with English Summary).
17. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of Environmental Stress in Plant. Jihad-e-Daneshgahi Publishers. 502 pp. (In Persian).
18. Kristin, A.S., Serna, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, A.J.A., Vallejo, R.P., Wassimi, N., and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science. 37(1): 43-50.
19. Mafakheri, K., Bihamta, M.R., and Abbasi, A.R. 2015. Screening for drought stress tolerance in cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* L.). Iranian Journal of Pulses Research 6(2): 123-138. (In Persian with English Summary).
20. Mishra, S.K., Sharma, B., and Sharma, S.K. 2007. Genetics and Cytogenetics of Lentil. In: SS. Yadav, D.K. McNeil and C.P. Stevenson (Eds.). Lentil: An Ancient Crop for Modern Times. Springer. p. 187-208.
21. Mohammed, A.K., and Kadhem, F.A. 2017. Screening drought tolerance in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) using drought indices and multivariate analysis. The Iraqi Journal of Agricultural Sciences 48 (Special Issue): 41-51.
22. Moosavi, S.S., Samadi, B.Y., Naghavi, M.R., and Zali, A.A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert 12: 165-178.
23. Panthuwan, G., Fokai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S., and O’Toole, J.C. 2002. Yield response of rice genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part 1: Grain yield and yield components. Field Crop Research 41: 45-54.
24. Parsa, M., and Bagheri, A.R. 2008. Pulses. Jahad Daneshgahi Publication. 530 pp. (In Persian).

25. Petersen, R.G. 1985. Augmented Designs for Preliminary Yield Trials (Revised). FAO of the UN-Oregon State Univ., Corvallis (USA).
26. Rahimi, M.H., Houshmand, S., and Khodambashi, M. 2017. Evaluation of lentil recombinant inbred lines using drought tolerance indices. Journal of Crop Ecophysiology 10(4/40): 907-927. (In Persian with English Summary).
27. Rashidi, V.S.C., Sharifi, M., and Effatdust, N. 2012. Comparison and classification of lentil (*Lens culinaris*) landraces under drought stress conditions after flowering. Journal of Crop and Weed Eco-Physiology 5(4): 81-96. (In Persian with English Summary).
28. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21(6): 943-946.
29. Safari, S., Dehghani, H., and Choghan, R. 2007. Evaluation of maize inbred lines for drought tolerance based on resistance indices and biplot method. Iranian Journal of Agricultural Sciences 38(1/2): 215-228.
30. Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37(1): 43-50.
31. Tadayyon, A., Hashemi, L., and Khodambashi, M. 2011. Effective morphological and phonological traits on seed and biological yield in lentil genotypes in Shahrekord region. Iranian Journal of Pulses Research 2(2): 47-62. (In Persian with English Summary).
32. Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. Nature Reviews Genetics 9(6): 444-457.
33. Walley, F.L., Clayton, G.W., Miller, P.R., Carr, P.M., and Lafond, G.P. 2007. Nitrogen economy of pulse crop production in the Northern Great Plains. Agronomy Journal 99(6): 1710-1718.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 204-218 (Research Article)

Screening for drought tolerance in lentil genotypes (*Lens culinaris* Medik) with emphasis on comparing old and new indices of stress tolerance in order to introduce promising genotypes

Vafaei[1], M.H., Parsa[2*], M., Nezami[2], A. & Ganjeali[3], A.

1. Contribution from College of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, mhvafaee45@gmail.com
2. Contributions from College of Agriculture & Research Center for Plant Sciences, University of Mashhad, parsa@um.ac.ir & nezami@um.ac.ir, respectively
3. Contribution from College of Biology & Research Center for Plant Sciences, University of Mashhad, ganjeali@um.ac.ir

Received: 7 February 2018
Accepted: 29 May 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.70269

Introduction

Drought stress is one of the main problems in agriculture of Iran and the world. Among the environmental limiting factors of the yield crops, drought is the most important factor to reduce production, especially in arid and semi-arid regions. Drought stress reduces water content in plant tissues, lead to growth shrinkage and some physiological and metabolic changes in them. Food legumes, as one of the most important protein-rich vegetable sources, played a major role in providing human protein, especially in low-income and developing countries, and after cereals are the second most important source of human food. These plants, with bio-stabilization of nitrogen, provide a large portion of their nitrogen, and because they require low water and nutrients, they are highly desirable for cultivation in poor lands. Lentil (*Lens culinaris* Medik) is one of the beans that had more than 20% protein content and characteristics such as the ability to grow in inappropriate conditions and poor soils, has been able to play an important role in the low-income diet of people in developing countries. Regarding to the success of a breeding program depends on the size and diversity of genetic resources, genetic diversity lead to succeeding in selection, so identification of cultivars with high yield, as well as limiting factors of yield potential and genotypes tolerant to these factors in lentil seems to be necessary.

Materials & Methods

This research was carried out in the research farm of Ferdowsi University of Mashhad in 2014. In this experiment, 73 lentil genotypes including native genotypes and lines from other countries were cultivated in two separate plots under non stress and stress conditions in Augmented design. Five genotypes used as control (Kimia, Gachsaran, Cabralinta, ILL325 and ILL857). Controls were cultivated in all blocks. Before planting, field soil was sampled from a depth of 30 cm and pH values, organic matter, EC, macro elements (N, P and K) and soil texture were measured. The planting was carried out on March 20, 2014. At the same time, according to the fertilizer recommendation, the amount of required elements was added to the soil and immediately after cultivation, an irrigation step was conducted to ensure the emergence of all the seeds for both dry conditions (drought stress) and non-stress. Afterwards, irrigation was performed only for non-stress treatments and every 10 days.

Results & Discussion

The results showed that mean and standard deviation of lentil genotype yields under drought stress and non stress conditions revealed significant differences. Accordingly, the average yield of genotypes under conditions of stress was 20.4 $g.m^{-2}$, which showed a decrease of 70.3% in non-stress conditions with 68.6 $g.m^{-2}$. According to 147 mm rainfall from planting to harvest, this yield reduction was not expected, indicating the need for supplementary irrigation. High standard deviation between genotypes indicates a large variety of lentil genotypes, and this wide variety can be used as a valuable genetic resources for later

*** Corresponding Author:** parsa@um.ac.ir

studies. According to the results, there was a significant correlation between yield and stress (P≤0.01) (r=0.71**). Also, there was a positive and significant correlation between performance in non stress conditions with the old indices HARM, TOL, MP, STI, GMP, SSPI, ATI and the new SNPI index (P≤0.01), and the correlation between yield in non stress conditions and SSI and RDI were not significant. There was also a positive and significant correlation between performance in non-stress conditions and ATI, GMP, HARM, RDI, STI, SSI, TOL and MP, and the new SNPI index (P≤0.01), but between yield in non stress conditions and the SSI was a significant negative correlation (P≤0.01). Old indices of HARM, TOL, STI, GMP, MP, ATI, and two new indicators of SSPI and SNPI, all have a positive and significant correlation (p≤0.01) with performance under stress and non stress conditions and can be considered as suitable indicators for screening stress tolerant genotypes.

Conclusion

The results of current study showed that the new SNPI index, which has a very high correlation (99.9%) with yield in stress conditions, as well as the old indices of HARM, STI and GMP, which have the positive and significant correlation with each other and with performance in two. The conditions of non stress and stress have been identified as the most suitable and effective criteria for identifying and selecting genotypes tolerant to drought stress. The results obtained from the three-dimensional, biplot, and cluster analysis methods are in agreement with each other for selection of high yielding and drought tolerant lines. Accordingly, it seems that genotypes 40, 48, 71, 73, 3, 8 , 45 and 52 are the promising and proposing genotypes in the Mashhad climate for further studies.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Correlation, Tolerance indices